

云南省中强震前气压场的特征分析*

赵洪声
(云南省地震局)

摘 要

为探索地震的短期预报,普查了云南省 1960—1974 年期间发生的中强震震前气压场的时空变化,通过最优二分割方法,筛选出来了与云南三个地震带有关的若干气压相关区(站)。文末给出的 1975—1977 年内符合检验结果表明,气压异常可能是地震近期发生的一个征兆。

一、引 言

在地震的预报和研究中,一个可探讨的方面是地壳与其上覆大气层之间的联系。运动着的大气是由其蕴含的能量(位能、热能和动能)的各种涡漩(气压系统)所构成。在某些情况下,前者是可与强烈地震的能量级相比拟(表 1)。

表 1

	天气系统		地 震			
	台 风	温带气旋	5 级	6 级	7 级	8 级
空间尺度(公里)	100—1300	500—3000	10^1	$10^1—10^2$		10^2
动能量级(尔格)	10^{23}	10^{24}	2×10^{19}	6.3×10^{20}	2×10^{22}	6.3×10^{23}

当然,大气的能量只有一小部分通过某些形式传输给地壳,其中研究较多的是大气压力在时、空上的不均匀变化。因其量级有 $\pm 10^4$ 达因/厘米²,兼之气压系统的空间尺度较大,有可能在断层阻锁部位产生应力集中(数量级增加),从而大于地壳内的能量积累速度,影响着地震的发生。

本文仅从统计的角度探讨了云南省中强震前气压场的主要时、空分布特征。

二、研究方法

这里采用一种最优二分割法研究气压变化与地震发生的定性联系。设有一个气压因子 X 和一个地震预报量 Y , 它们相应的观测资料有 $\{(x_i, y_i); i = 1, 2, \dots, n\}$

* 1978 年 2 月 27 日收到。

我们希望通过 X 这个因子, 把 Y 分成二类 (如有无 ≥ 5 级地震), 这就要考虑对因子 X 的所有可能分割。

任给一常数 c , 把 n 个资料 (x_i, y_i) 按 X 的量值分成二组:

$$I(c) = \{(x_i, y_i), x_i \geq c\}$$

$$II(c) = \{(x_i, y_i), x_i < c\}$$

每一组 y_i 的均值为

$$\bar{Y}(I) = \frac{1}{n_1} \sum_{x_i \geq c} y_i$$

$$\bar{Y}(II) = \frac{1}{n_2} \sum_{x_i < c} y_i \quad (1)$$

$$(n_1 + n_2 = n)$$

变差为

$$S(I) = \sum_{x_i \geq c} [y_i - \bar{Y}(I)]^2 \quad (2)$$

$$S(II) = \sum_{x_i < c} [y_i - \bar{Y}(II)]^2$$

于是, 以 c 作为临界值分组后二组的总变差 $S(c)$ 就等于

$$S(c) = S(I) + S(II) \quad (3)$$

容易看出, 每给定一个 c , 依上述原则就可算得一个 $S(c)$, $S(c)$ 的大小反映了依 c 来分组对区分二类地震强度是否合适的程度, 总可以找到某一个 c^* , 使 $S(c^*)$ 在全部 $S(c)$ 中达到最小, 即有

$$S(c^*) = \min S(c) \quad (4)$$

这样的 c^* 就是最好的分组临界值。它确实把 Y 分成了二个不同的部分, 分组后 Y 内部的变差总和达到最小。

至于如此分割成的两组是否真有意义, 还需按下式计算 F 值

$$F = \frac{n_1[\bar{Y}(I) - \bar{Y}]^2 + n_2[\bar{Y}(II) - \bar{Y}]^2}{S(c)} \cdot (n - 2) \quad (5)$$

$$\left(\bar{Y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i \right)$$

如 F 检验认为是显著的, 即有

$$F \geq F_\alpha(df_1 = 1, df_2 = n - 2) \quad (6)$$

(本文取 $\alpha = 0.05$)

分割方有意义。

但临界值 c^* 的确定仅是第一步。

第二步是因子的逐步筛选问题。

对一地震带, 周围气压场可划分为若干小区——若干预报因子, 设有 K 个因子 X_1, X_2, \dots, X_K , 再加上历史地震 Y (其值专门简化为 0 和 1, 即 $M_s \geq 5$ 级时 $Y = 1$, 反之 $Y = 0$), 全部的资料就是下述矩阵

$$\begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \\ \vdots \\ X_k \\ Y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ x_{k1} & x_{k2} & \cdots & x_{kn} \\ y_1 & y_2 & \cdots & y_n \end{bmatrix}$$

每一个因子 X_i 都有其最优二分割, 相应的总变差为 S_i , 只要比较 S_1, S_2, \dots, S_k , 同样可找出一个最小的, 设为

$$S_{j_1} = \min_{1 \leq i \leq k} S_i \tag{7}$$

若 S_{j_1} 所对应的二分割后的两组, 经 (6) 式 F 检验确有显著差异, 那么某区 (站) 气压因子 X_{ji} 就入选, 认为它能分辨不同强度的地震。

依 X_{ji} 的顺序进行最优二分割, 将全部资料分成两组。而每一组再单独重新处理。

这样, 不断的入选与地震定性相关较好的气压因子, 不断地将资料分组, 直到所有的资料都按规定的地震强度界限基本上分成了二类, 或因 F 检验的限制而无法再入选新因子及无法分组时为止。

据此分割结果, 就可讨论气压场分布特征与地震发生的关系。

三、震前气压场特征

我国西南地区地面高差变化悬殊, 各站的气压绝对值很难比较, 故采用了逐日变压 (Δp) 资料 (1960—1974 年), 以研究云南省 $M_s \geq 5$ 级地震震前的气压短期变化背景。

发现气压场虽然千变万化, 但对于固定的一个地震带来讲, 借助于最优二分割法, 总共筛选出若干相关显著的区 (站), 这些区 (站) 的气压在每次震前都表现有某种规律性的升 (降) 变化, 且强度达到了相当的数值 (表 2)。

表 2

地震带 \ 气压因子	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5
滇 东	1. 毕节, 2. 遵义 $\sum_{i=1}^2 \Delta p_i \geq 9\text{mb}$	昭 通 $\Delta p \leq 4\text{mb}$	会 泽 $\Delta p \leq 3\text{mb}$	昆 明 $\Delta p \leq 1\text{mb}$	
滇 中	九 龙 $\Delta p \geq 5\text{mb}$	盐 源 $\Delta p \geq 4\text{mb}$	1. 木里, 2. 稻城 $\Delta p_i \geq 4\text{mb}$ ($i = 1, 2$)	华 坪 $\Delta p \leq 6\text{mb}$	楚 雄 $\Delta p \leq 4\text{mb}$
滇 西	1. 景洪, 2. 勐腊 $\Delta p_i \geq 4\text{mb}$ ($i = 1, 2$)	1. 瑞丽, 2. 孟定 $\Delta p_i \geq 2\text{mb}$ ($i = 1, 2$)	泸 水 $\Delta p \leq 2\text{mb}$	1. 昌都, 2. 丁青 $\sum_{i=1}^2 \Delta p_i \leq 1\text{mb}$	

从表 2 不难看出, 云南各地震带的中强震的发生, 除要求震区外围某方向增压这首要条件外, 还要求震区气压偏低, 这可能是低气压具有使中等主应力及围压减小的作用, 结果有利于地震的发生。

现将各地震带具体情况介绍如下:

1. 滇东地震带 本带中强震发生前,北方冷空气偏东侵入贵州,关键站毕节、遵义增压合计 ≥ 9 毫巴,同时滇东(昭通、会泽、昆明)处于相对低压区,24 小时变压场的空间分布特征是东高西低(图 1).

已知 Y 值只取 1 和 0,若再令气压因子 X 达到临界值 c^* 时为 1,反之为 0 的话,当有满足如下布尔代数方程

$$Y_{(1)} = \prod_{i=1}^4 X_i = 1 \quad (8)$$

的日变压场出现后,滇东带便可能发生中强震,且滇东带气压愈低(如昆明、会泽两站平均日变压 ≤ 0 毫巴),愈易发生 6 级以上的强震.

图 2 绘出了发震间隔日数 τ 的频率 f 分布曲线,本带 56% 的地震于变压场异常之后三日内发生.

2. 滇中地震带 本带中强震发生前,常是密度很大的大陆冷气团先入四川,再从正北路径入侵云南.川西南到滇中皆属增压,但之间有明显的梯度变化,即川西南因冷空气强盛而增压激烈,滇中却增压较少,成为相对低压区.再往滇南,则多呈减压.24 小时变压场的空间分布显现出北高南低的特征(图 3).

若某日有关区(站)气压因子同时出现上述特异分布,而使布尔代数式

$$Y_{(2)} = \prod_{i=1}^5 X_i \quad (9)$$

等于 1 的话,红河断裂以东与小江断裂以西的滇中地区便可能以 67% 的频率在后三日内发生中强震(图 2),具体震级 M 随川西南(九龙、盐源、木里、稻城四站平均)与滇中(华坪、楚雄两站平均)气压差 dp 的增加而加大

$$M_{(2)} = 5.28 + 0.82dp \quad (\gamma = 0.80, \alpha = 0.05) \quad (10)$$

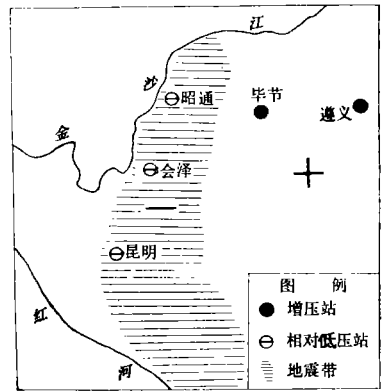


图 1

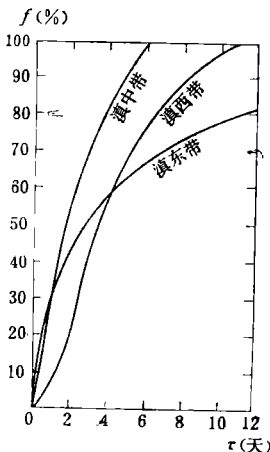


图 2



图 3



图 4

将相应提高。

3. 滇西地震带 本带中强震发生前,既有经向度很大的中纬度高空槽的活动,也有低纬天气系统的影响。24小时变压场的空间分布是南高北低(图4),(11)式算值为1.

$$Y_{(3)} = \prod_{i=1}^3 X_i + \prod_{\substack{i=1 \\ i \neq 3}}^4 X_i \quad (11)$$

即要求我国滇西南边境(限于资料,缅甸北部未予分析)明显增压,其北面数百公里的泸水一带气压相对偏低,或者更北面西藏的昌都、丁青气压相对偏低。

图4所示的变压场出现之后四日内,滇西带有60%的可能发生中强震(图2)。当然,若时效延长,发震概率

四、内符检验

根据1974年前气压—地震资料建立的预报方程(8)、(9)、(11)表明,当西南地区日变压场的空间分布满足 $Y_{(1)} = 1$ 或 $Y_{(2)} = 1$ 或 $Y_{(3)} = 1$ 时,相应地震带便可能于短期内以一定概率发生 $M \geq 5$ 级的地震。

对此结论,我们用1975—1977年共1096天的资料进行了验证(表3),总的看来,预报效果尚较显著,虚报率很低,有一定应用价值。

表 3

j	地震带	$Y_{(j)} = 1$ 的次数 ($j = 1, 2, 3$)	短期内 $M \geq 5$ 级地震的对应次数	
			本带内	云南省内
1	滇东	10	0	8
2	滇中	12	8	9
3	滇西	5	3	5

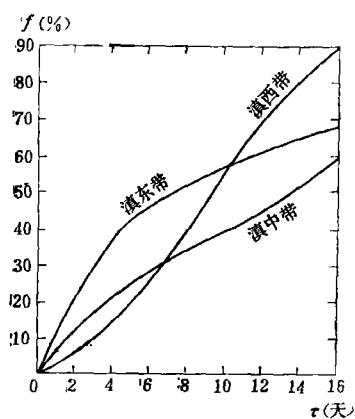


图 5

但由于样本不可能概括出总体的全部性质,故预报中必定要出现些新的问题。如:

1. 震中预报偏差大,特别是滇东带,所对应的中强震都发生于该带之外,说明地壳内能量的传递和积累过程相当复杂,非简单的气压空间分布模型所能完全揭示的。

2. 发震间隔日数延长,且有虚报存在。频率累积曲线增长缓慢(图5),单位时间的发震概率密度较图2有所减少,暴露出一般外力触发预报方法的固有弱点。

总之,本文筛选出的关键区(站)的气压变化,对地震的发生虽有所贡献,但远非一一对应。还需要综合考虑其它地球物理因素,以改进时空预报的精度。

五、结 语

地震是发生于自然界的小概率事件,即使在构造运动较为活跃的云南省,各带 $M_s \geq 5$ 级地震的出现概率也不过 $10^{-2} - 10^{-3}$ /日,7级以上地震的概率更小,仅约 10^{-4} /日。另一方面, $Y_{(j)} = 1$ ($j = 1, 2, 3$) 的气压异常也是很罕见的(由于受所给定的空间条件和强度条件的限制),但却又往往先显现于地震之前若干天,似乎地震是对前者的响应,如以 $Y_{(j)} = 1$ ($j = 1, 2, 3$) 作有震预报,其概率将比自然发震概率增高 $10^2 - 10^3$ 倍,这不能不使人怀疑到:

沿某一特定方向,梯度激烈增强的变压场的附加力,能在震源处达到传统激发观念难以预料到的应力集中强度。譬如放大 10^3 量级以上,从而接近于岩石破坏极限 $10^7 - 10^9$ 达因/厘米²。

或者震前气压异常就是孕震区通过某种有能量上传的物理过程,以热效应、电磁效应等等因素影响大气活动而显示出的前兆信息。这当然需要开展专门观测和理论数值计算,方能得到进一步证实。

THE CHARACTERISTICS OF ATMOSPHERIC PRESSURE FIELD BEFORE STRONG AND MODERATE EARTHQUAKES OCCURRED IN YUNNAN PROVINCE

ZHAO HONG-SHENG

(Seismological Bureau of Yunnan Province)

Abstract

In order to seek for short-range precursory phenomena of earthquakes, time space changes of the atmospheric pressure field before strong and moderate earthquakes ($M_s \geq 5.0$) occurred during 1960—1974 in Yunnan province have been investigated.

Some correlative regions (or stations) of the atmospheric pressure related to three seismic active belts in Yunnan province were selected by the statistical method of optimal two-way classification.

Finally, the results of prediction test within the period 1975—1977 indicate that the anomaly of atmospheric pressure may possibly be an indication of short-range precursor of the occurrence of earthquakes.